

PCT
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



5

<p>(51) Internationale Patentklassifikation ⁵ : G01B 7/30, H02K 24/00</p>	A1	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 90/12278</p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 18. Oktober 1990 (18.10.90)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT90/00024</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 3. April 1990 (03.04.90)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: A 810/89 6. April 1989 (06.04.89) AT</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): ELIN ENERGIEANWENDUNG GESELLSCHAFT M.B.H. [AT/AT]; Penzinger Straße 76, A-1140 Wien (AT).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US) : SCHRÖDL, Manfred [AT/AT]; Untere Hauptstraße 9, A-7223 Sieggraben (AT). STEFAN, Thomas [AT/AT]; Gruengasse 11/15, A-1050 Wien (AT).</p>		
<p>(74) Anwalt: KRAUSE, Peter; Elin Energieanwendung Gesellschaft m.b.H., Penzinger Straße 76, A-1140 Wien (AT).</p> <p>(81) Bestimmungsstaaten: AT (europäisches Patent), BE (europäisches Patent), CH (europäisches Patent), DE (europäisches Patent), DK (europäisches Patent), ES (europäisches Patent), FR (europäisches Patent), GB (europäisches Patent), HU, IT (europäisches Patent), LU (europäisches Patent), NL (europäisches Patent), SE (europäisches Patent), US.</p> <p style="text-align: center;">Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i></p>		
<p>(54) Title: PROCESS FOR THE DETECTION WITHOUT A SENSOR OF THE ANGLE OF ROTATION IN UNDAMPED SYNCHRONOUS MACHINES, PREFERABLY EXCITED BY PERMANENT MAGNETS</p> <p>(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR SENSORLOSEN DREHWINKELERFASSUNG VON DÄMPFERLOSEN, VORZUGSWEISE PERMANENTMAGNETERREGTEN, SYNCHRONMASCHINEN</p> <p>(57) Abstract</p> <p style="text-align: justify;">The reaction of abrupt voltage changes generated by a converter belonging to an undamped, preferably permanent-magnet-excited synchronous machine, and applied to said machine is measured and the rotor position is calculated from the angular dependence of the stator reactance.</p> <p>(57) Zusammenfassung</p> <p style="text-align: justify;">Es wird die Rückwirkung von an eine dämpferlose, vorzugsweise permanentmagneterrregte, Synchronmaschine abgesetzten Spannungssprüngen gemessen, die von einem zur Synchronmaschine gehörenden Umrichter generiert werden, und aus der Winkelabhängigkeit der Statorreaktanz die Rotorstellung berechnet.</p>		

BENENNUNGEN VON "DE"

Bis auf weiteres hat jede Benennung von "DE" in einer internationalen Anmeldung, deren internationaler Anmeldetag vor dem 3. Oktober 1990 liegt, Wirkung im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland mit Ausnahme des Gebietes der früheren DDR.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäß dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	ES	Spanien	ML	Mali
AU	Australien	FI	Finnland	MR	Mauritanien
BB	Barbados	FR	Frankreich	MW	Malawi
BE	Belgien	GA	Gabon	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GB	Vereinigtes Königreich	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	RO	Rumänien
BJ	Benin	IT	Italien	SD	Sudan
BR	Brasilien	JP	Japan	SE	Schweden
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SN	Senegal
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SU	Sowjet Union
CG	Kongo	LI	Liechtenstein	TD	Tschad
CH	Schweiz	LK	Sri Lanka	TG	Togo
CM	Kamerun	LU	Luxemburg	US	Vereinigte Staaten von Amerika
DE	Deutschland, Bundesrepublik	MC	Monaco		
DK	Dänemark	MG	Madagaskar		

"Verfahren zur sensorlosen Drehwinkelerfassung von dämpferlosen, vorzugsweise permanentmagneterregten, Synchronmaschinen"

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur sensorlosen Drehwinkelerfassung von dämpferlosen, vorzugsweise permanentmagneterregten, Synchronmaschinen, wobei die Rückwirkung von an die Synchronmaschine abgesetzten
5 elektrischen Testsignalen gemessen wird.

Permanentmagneterregte Synchronmaschinen gewinnen durch die Fortschritte auf dem Sektor der Magnetmaterialien, der Leistungs- und Informationselektronik zunehmend an
10 Bedeutung in der Antriebstechnik. Sie zeichnen sich gegenüber Asynchronmaschinen durch eine einfachere regelungstechnische Struktur und höheren Wirkungsgrad aufgrund der sehr geringen Rotorverluste aus.

15 Für die Durchführung der Regelalgorithmen bei dynamisch hochwertigen feld- bzw. polradorientierten Regelkonzepten ergibt sich die Notwendigkeit eines mechanischen Gebers zur Erfassung der Polradposition. Es ist daher das Ziel vieler Forschungsaktivitäten, den mechanischen Geber
20 durch mathematische Modelle oder durch Ausnützung physikalischer Effekte zu ersetzen.

Es sind verschiedene Verfahren zur Lageerfassung des Polrades einer permanentmagneterregten Synchronmaschine
25 bekannt.

Ein derartiges Verfahren wird im Kapitel "Algorithmus zur rechnerischen Erfassung der Polradlage einer permanentmagneterregten Synchronmaschine ohne Lagegeber" von
30 M. Schrödl und T. Stefan im Tagungsbuch (Seite 48 bis 54) der ETG/VDE-Konferenz "Antriebssysteme für die Geräte- und Kraftfahrzeugtechnik", veranstaltet 1988 in Bad Nauheim, BRD, beschrieben. Dabei erfolgt die Erfassung der Polradlage bei Vollpolmaschinen durch Auswertung der
35 induzierten Spannung. Ab einer gewissen mechanischen Drehzahl kann ein dauermagneterregter Rotor selbst als Lagegeber verwendet werden, da ein in einer

ERSATZBLATT

- Statorwicklung induzierter Spannungsraumzeiger im allgemeinen in eindeutiger Weise mit der gesuchten Rotorposition in Zusammenhang steht. Dabei können auch nichtsinusförmige Induktionsverteilungen im Luftspalt
5 zugelassen werden. Dieser induzierte Spannungsraumzeiger kann aus den Klemmenspannungen unter Berücksichtigung der ohmschen und induktiven Spannungsabfälle berechnet werden.
- 10 Nachteilig dabei ist, daß diese Auswertung erst ab einer gewissen Mindestdrehzahl erfolgen kann, da der induzierte Spannungsraumzeigerbetrag proportional mit der Drehzahl abnimmt.
- 15 Über ein anderes Verfahren berichtet das Kapitel "Detection of the rotor position of a permanent magnet synchronous machine at standstill" von M. Schrödl, enthalten in den Proceedings, die zur "International Conference on Electrical Machines" 1986 in Pisa, Italien,
20 publiziert wurden.
- Bei diesem Verfahren wird mittels elektrischer Testsignale die von den permanenten Magneten hervorgerufene, variierende magnetische Sättigung gemessen. Da sich diese
25 Art der Messung reproduzieren läßt, ist die Rotorposition exakt feststellbar. Die für die Durchführung der Messung notwendige Kenntnis der Polarität der Magnete läßt sich durch Veränderung des magnetischen Arbeitspunktes und die Messung seiner Auswirkung auf die Impedanz feststellen.
- 30 Es ist hier die Ermittlung der Rotorposition auch bei stillstehender Maschine möglich.
- Der Nachteil dieser Methode besteht darin, daß durch die Notwendigkeit einer zusätzlichen analogen Stromquelle das
35 Meßverfahren sehr aufwendig ist.

Auch die Dissertation "Die permanenterregte umrichter gespeiste Synchronmaschine ohne Polradgeber als drehzahl geregelter Antrieb" von H. Vogelmann (Universität Karlsruhe, BRD, 1986) befasst sich mit einem Verfahren zur Ortung der Polradlage.

Dabei wird ein mittels eines Umrichters erzeugter, relativ hochfrequenter Strom als Prüfsignal dem eigentlichen Nutzsignal überlagert. Der Grundgedanke dabei ist, daß ein in eine gewisse (Raumzeiger-) Richtung aufgeschaltetes elektrisches Wechsellsignal aufgrund der unterschiedlichen Induktivitäten in Längs- und Querachse im allgemeinen auch in der orthogonalen Richtung eine Reaktion hervorruft. Nur für den Fall, daß das Wechsellsignal genau in der Rotor-Längs- bzw. -Querrichtung aufgebracht wird, tritt eine derartige Verkopplung nicht auf. Damit ergibt sich ein Kriterium, ob das Signal in die gesuchte ausgezeichnete Richtung appliziert wird oder nicht. Eine Voraussetzung zur Erreichung exakter Meßergebnisse ist eine permanentmagnetenerregte Synchronmaschine mit Schenkelpolcharakter, also mit ungleichen Induktivitäten in Längs- und Querrichtung, wie etwa bei flußkonzentrierenden Anordnungen.

Der überwiegende Teil der permanentmagnetenerregten Synchronmaschinen wird jedoch nicht in flußkonzentrierender Bauweise ausgeführt, sondern mit konstantem Luftspalt und auf die Rotoroberfläche aufgeklebten Magneten. Dies ist fertigungstechnisch einfacher und erlaubt bei Verwendung von hochwertigen Samarium-Kobalt- bzw. Neodym-Eisen-Magneten Luftspaltinduktionen von etwa 1 Tesla.

Bei den erwähnten Ortungsverfahren besteht also der Nachteil, daß sich damit nur bei Maschinen mit ausgeprägter Schenkelpolcharakteristik brauchbare Ergebnisse ergeben.

- 4 -

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur geberlosen Lageerfassung des Rotors einer permanentmagnetregten Synchronmaschine durch Messung ausschließlich elektrischer Größen zu realisieren und die Nachteile bzw. Ungenauigkeiten der bekannten Verfahren zu vermeiden.

Die Aufgabe wird durch die Erfindung gelöst. Diese ist dadurch gekennzeichnet, daß die Testsignale Spannungssprünge sind, die ein zur zu messenden Synchronmaschine gehörender, speisender Umrichter generiert, und daß die ermittelten Meßdaten einem Rechner zugeführt werden, der aus der Abhängigkeit der Statorreaktanz die Rotorstellung berechnet, und daß zum Start der Synchronmaschine eine Vormagnetisierung eingestellt und je eine Messung bei feldschwächender und bei feldstärkender Wirkung durchgeführt wird.

Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht sowohl in seiner großen Genauigkeit als auch darin, daß für die Polradortung keine analogen Zusatzstromquellen benötigt werden, sondern der - ohnehin vorhandene - speisende Umrichter als Testsignalgenerator eingesetzt wird.

25

Weiters ist vorteilhaft, daß mit der Erfindung die exakte Polradortung bei beliebiger Last durchführbar ist.

Ein zusätzlicher Vorteil ist dadurch gegeben, daß der übersichtliche Schaltungsaufbau äußerste Betriebssicherheit garantiert.

Zudem kann das erfindungsgemäße Polradortungsverfahren bei den gängigen Regelkonzepten (Toleranzbandführung, Pulsmustervorgabe usw.) problemlos implementiert werden.

35

In einer Ausgestaltung der Erfindung werden zwei hintereinanderfolgende Testmessungen mit kurzer Meßfrequenz durchgeführt.

- 5 Auf diese Weise wird der Effekt der vom Magneten herrührenden rotatorisch induzierten Spannung kompensiert. Dadurch funktioniert das Verfahren bei allen Drehzahlen, wobei auch im tiefsten Drehzahlbereich und im Stillstand dieselbe hohe Genauigkeit gegeben ist.
- 10 Ein weiteres Merkmal der Erfindung besteht darin, daß eine Testmessung mit momentanen Schätzwerten von Drehwinkel und Drehzahl sowie einem Stromraumzeiger durchgeführt wird.
- 15 Dadurch ist es möglich, mit nur einer Messung und in Kombination mit tabellarischen Korrekturwerten, eine hohe Genauigkeit zu erzielen.
- 20 An Hand von Ausführungsbeispielen soll nun die Erfindung, unter Verwendung dreistrangiger Synchronmaschinen, näher erläutert werden. (Dasselbe erfindungsgemäße Prinzip ist für Synchronmaschinen mit anderen Strangzahlen in gleicher Weise anwendbar.) Dabei zeigt Fig. 1 ein Meß-
- 25 verfahren mit fixen Meßzeiten. In Fig. 2 ist die Integration des erfindungsgemäßen Verfahrens in eine Spannungssteuerung mit fixem Pulsmuster dargestellt. Die Anwendung der Erfindung mit definierten Stromänderungen bei einem Antrieb mit Toleranzband-Stromregler ist in
- 30 Fig. 3 aufgezeigt. In allen drei Figuren ist die Schaltung jeweils nur für einen Strang der Statorwicklung gezeichnet; sie ist für die beiden anderen Stränge selbstverständlich analog.
- 35 Das erfindungsgemäße Verfahren basiert auf der Tatsache, daß bei Luftspaltinduktionswerten von etwa 1 Tesla gewisse Eisenpartien in der Maschine gesättigt werden.

Bei Permanentmagnetenerregung werden in erster Linie die Statorzähne beträchtlich gesättigt. Weiters ist, bei entsprechender Auslegung, eine gewisse Sättigung im Joch denkbar.

Ein (kleines) Statorstromsignal ruft im Stator ein zusätzliches Magnetfeld hervor, das je nach Stromzeiger-richtung auf Pfaden mit unterschiedlichen magnetischen Leitwerten verläuft. Bei einem Stromraumzeiger parallel zum Raumzeiger des vom Dauermagneten hervorgerufenen magnetischen Flusses verläuft das Zusatzmagnetfeld in den magnetisch stark belasteten Gebieten, bei Aufbringung des Stromraumzeigers normal dazu werden die gesättigten Gebiete weitgehend nicht berührt.

15 Die magnetische Verteilung in der Maschine definiert also für jede Raumzeigerrichtung eines Meß-Statorstromes einen Arbeitspunkt auf der magnetischen Kennlinie, die den Zusammenhang zwischen den Raumzeigerbeträgen von
20 Durchflutung und magnetischem Fluß angibt. Je nach betrachteter Raumzeigerrichtung schwankt dieser Arbeitspunkt zwischen einem Minimalwert im linearen Teil und einem Maximalwert in der Krümmung der Kennlinie. Diese Modulation des Arbeitspunktes kann durch Messung der
25 differentiellen Induktivität der betrachteten Raumzeigerrichtung erfaßt werden. Dabei ist die Stromänderung im Vergleich zum Nennstrom vernachlässigbar klein, so daß die magnetischen Verhältnisse fast nicht beeinflußt werden. Der Einfluß des Statorwiderstandes ist dabei so
30 klein, daß er vernachlässigt werden kann.

Um die sich bei Messung mittels einer analogen Testspannungsquelle und sinusförmigen Testsignalen ergebenden Nachteile (Messung nur bei stillstehendem, unbelastetem Rotor möglich; großer Meß- und Rechenaufwand; Testsignalgenerator als Zusatzeinrichtung ist während der Messung anstatt des Umrichters auf die Synchronmaschine

- 7 -

geschaltet), zu vermeiden, ist beim erfindungsgemäßen Verfahren der Umrichter selbst als Testsignalgenerator eingesetzt.

5 Stillstehende Maschine:

Als Testsignal werden geschaltete Spannungen aus den Umrichterzweigen auf die Synchronmaschine geschaltet. Es wird dann die differentielle Induktivität aufgrund des Anstiegs des Stromraumzeigerbetrages ermittelt. Damit ist
10 für die möglichen Spannungsraumzeigerrichtungen (0, 120, 240 Grad bei Dreiphasensystemen) eine Messung mit äquivalentem Aussagewert wie mittels einer analogen Zusatzsignalquelle erzielbar. Durch wiederholte Messungen während des Betriebes kann eine statistische Auswertung
15 der anfallenden Information durchgeführt und somit eine große Messgenauigkeit erzielt werden.

Rotierende Maschine:

Durch Kombination von zwei Messungen wird der Effekt der
20 rotatorisch induzierten Spannung weitestgehend eliminiert. Es werden zwei Messungen durchgeführt, wobei nach der ersten Messung in einem Zweig (beispielsweise Zweig A oder alternativ in allen anderen Zweigen außer A; beides bewirkt eine Messung in die gleiche Raumzeigerrichtung)
25 eine Schalthandlung durchgeführt wird. Sodann wird der Wert der Messung 2 vom Wert der Messung 1 subtrahiert. Der Spannungsdifferenzraumzeiger weist in die Richtung des mit dem geschalteten Wechselrichterzweig verbundenen Stranges, so daß es genügt, die Stromänderung während der
30 Intervalle I und II nur im betreffenden Strang zu messen. (Durch die verschiedenen Induktivitäten aufgrund der Vorsättigung weichen Spannungs- und Meßstromraumzeiger leicht voneinander ab. Bei üblichen Sättigungsverhältnissen beträgt diese Abweichung maximal 7 Grad. Diese
35 Abweichung ist jedoch ein reproduzierbarer Effekt und dadurch ein korrigierbarer Fehler.) Durch diese

- 8 -

Meßstrategie wird die Auswirkung der rotatorisch induzierten Spannung kompensiert.

Bei höheren Drehzahlen ist die Drehung während der Meßzeit nicht vernachlässigbar. In diesem Fall kann der Meßvorgang des Intervalls II in zwei Teilmessungen aufgespaltet werden, wobei der erste Teil vor und der zweite Teil nach Intervall I durchgeführt wird. (In beiden Teilmessungen wird der gleiche Spannungsraumzeiger angelegt.) Dadurch tritt jeweils praktisch derselbe (mittlere) Wert der induzierten Spannung auf.

Auch die induzierte Spannung ist bei höheren Drehzahlen nicht vernachlässigbar. Durch diese Spannung erfolgt die Stromänderung nicht mehr parallel zum angelegten Statorspannungsraumzeiger, sondern in die Richtung der Differenz zwischen Statorspannungs- und induziertem Spannungsraumzeiger. Die Messung erfolgt also scheinbar in den Intervallen I und II in mehr oder weniger abweichende Raumzeigerrichtungen. Es ist (unter Verwendung der Raumzeigerrechnung), mathematisch eindeutig nachweisbar, daß die Messung durch die Differenzbildung der zwei Intervalle wirklich den Induktivitätswert der gewünschten Richtung liefert.

Zum Start des Systems ist es unbedingt notwendig, die Polarität des Permanentmagneten zu bestimmen, da sonst die bestimmte Rotorposition mit einer Unsicherheit von 180 Grad (elektrisch) behaftet ist. Dies ist darin begründet, daß die Induktivitätsschwankungen sich zweimal pro elektrischer Umdrehung wiederholen.

Im vorliegenden Fall erfolgt die Polaritätsbestimmung durch alleinige Verwendung des Umrichters. Nach der Bestimmung der Richtung minimaler und maximaler Induktivität, welche unmittelbar mit der Polradlage bzw. der Magnetisierungsrichtung des Rotors zusammenhängt, wird in

- 9 -

etwa diese Richtung ein relativ großer Statorstromraumzeiger aufgebracht, wodurch eine gewisse Verschiebung des magnetischen Arbeitspunktes erfolgt. In diesem neuen magnetischen Arbeitspunkt wird nun eine Induktivitätsmessung, wie zuvor beschrieben, durchgeführt. Ob dieses Zusatzsignal eine Erhöhung oder eine Verminderung der Sättigung gebracht hat, kann entschieden werden, wenn genau die entgegengesetzte Zusatzdurchflutung aufgebracht und wieder die differentielle Induktivität bestimmt wird.

10 Legt man einen konstanten Spannungsraumzeiger an die Maschine, so ändert sich der Betrag des mit dem Stator verketteten Flusses linear mit der Zeit, während der Strom progressiv zunimmt, wenn der Bereich magnetischer Sättigung erreicht wird. Die Messung der Induktivität erfolgt beispielsweise mit einem konstanten Stromänderungsintervall. Die Zeiten zwischen den Schalthandlungen sind dann ein Maß für die differentielle Induktivität.

20 Die geringe Statorinduktivität hat zur Folge, daß selbst Ströme in der Größenordnung des Nennwertes keine gravierende Änderung der Sättigungsverhältnisse in der Maschine nach sich ziehen. Es werden zwar die "Induktivitäts-Ellipsen" etwas abgeplattet, jedoch bleibt der Verlauf der winkelabhängigen Induktivität erhalten und der Effekt meßbar. Es besteht die Möglichkeit, die lastabhängigen Sättigungsverhältnisse in einem Festwertspeicher abzulegen und die entsprechenden Kennwerte je nach Laststrom abzufragen. Die Lastpunkte können dahingehend eingeschränkt werden, daß nur flußnormale, also drehmomentbildende Statorstromkomponenten auftreten.

Zur praktischen Bestimmung der Rotorposition sind verschiedene Möglichkeiten des Meßablaufs denkbar. Die zwei wichtigsten Methoden sind, ein festes Meßintervall oder einen festen Stromänderungsbetrag vorzugeben.

Bei Vorgabe eines festen Meßintervalls wird die Zeit des Intervalls I gleich der des Intervalls II und konstant gesetzt. Nimmt man an, daß die Induktivität in Richtung des Stranges A gemessen werden soll, so ist der Zustand
5 der Wechselrichterzweige A, B, C im Intervall I beispielsweise 1, 0, 0 (1 bedeutet: Wechselrichterzweig an positivem Zwischenkreispotential) und im Intervall II beispielsweise 0, 0, 0 oder 1, 1, 1 oder 0, 1, 1. In
10 jedem Fall zeigt der Differenzspannungsraumzeiger in Richtung zur Strangachse A. Legt man gedanklich die reelle Achse des Raumzeiger-Koordinatensystems in die zu messende Strangachse, so ergibt sich, daß der Kehrwert der gesuchten Induktivität proportional der Differenz der betreffenden Strangstromänderungen im Intervall I und II
15 ist.

Fig. 1 zeigt die Integration dieser Variante in eine stromgeregelter, permanentmagneterregte Synchronmaschine mit zeitdiskreter Schaltzustandssteuerung, und zwar in
20 einen Strang (1) der Statorwicklung. Die Regelung des Strangstromes erfolgt so, daß mit Hilfe eines Komparators (2) ohne Hysterese ein Soll-Ist-Vergleich durchgeführt wird, welcher dann zu diskreten, äquidistanten Zeitpunkten als Kriterium verwendet wird,
25 ob ein betroffener Wechselrichter-Brückenzweig (3) bis zum nächsten Abfragezeitpunkt auf positives oder negatives Zwischenkreispotential geschaltet wird bzw. bleibt. Die Zeitdiskretisierung erfolgt mittels eines D-Flipflops (4).

30 Die zusätzliche Meßeinrichtung besteht aus einer Logik (5), welche unabhängig vom Soll-Ist-Vergleich bei Bedarf einen Meßzyklus durchführt. Dieser besteht, wie bereits erwähnt, aus zwei Zeitperioden I und II, die in diesem
35 Fall gleich lang sind. Bei höherer Drehzahl kann die Messung auf vier Zeitperioden ausgedehnt werden (Zyklenfolge I-II-II-I oder umgekehrt), wodurch für beide

- 11 -

Meßabschnitte die gleiche mittlere Rotorposition vorliegt.

5 Neben dieser Logik (5) wird noch eine Istwerterfassung bzw. -verarbeitung durchgeführt, welche die Größe der Stromänderungen erfaßt. Die Stromistwerterfassung erfolgt über einen Stromwandler (6), der Stromistwert wird dem N-Eingang des Komparators (2) und einem Modul (8) für
10 analoge Signalverarbeitung eines Rechners (7) zugeführt. Vom Modul (8) für analoge Signalverarbeitung erfolgt die Information bezüglich des Stromsollwertes an den P-Eingang des Komparators (2).

15 Zwei Leitungen (10 bzw. 11) verbinden ein Modul (9) für digitale Steuerung mit der Logik (5) und übertragen Informationen über den Komparator- bzw. Brückenstatus. Über eine Leitung (12) wird der Synchronisiertakt vom Modul (9) für digitale Steuerung dem dynamischen Eingang
20 des D-Flipflops (4) zugeführt.

In Fig. 2 wird das anhand von Fig. 1 beschriebene Verfahren in eine Spannungssteuerung mit fixem Pulsmuster integriert. Dabei werden in das Pulsmuster die Meßzyklen
25 direkt eingefügt; die Signalverarbeitung wird dann über Statusleitungen informiert, wann ein Meßzyklus durchgeführt wird. Fig. 2 zeigt wiederum die Statorwicklung einer permanentmagneterregten Synchronmaschine - mit der erfindungsgemäßen Schaltung für einen Strang (21) - und
30 einen Wechselrichter-Brückenweig (22). Ein Pulsmustergenerator (23) mit integrierten Meßzyklen erhält über zwei Leitungen (24 bzw. 25) die Spannungs- bzw. Frequenzvorgabe von einem Steuerungsmodul (26). Die Übermittlung des Ansteuersignals vom Pulsmustergenerator (23)
35 zum Wechselrichter-Brückenweig (22) erfolgt über eine Leitung (30). Die Stromistwerterfassung zur Messung der Stromänderung erfolgt über einen Stromwandler (28), der

- 12 -

Stromistwert wird über eine Leitung (29) dem Steuerungsmodul (27) zugeführt.

- 5 Ein wichtiger Spezialfall ist gegeben, wenn die Stromänderung des Meßabschnittes I definiert und gleich der negativen Änderung des Abschnittes II gesetzt ist. In diesem Fall sind die Zeiten der Meßabschnitte I und II zu messen. Die Summe ihrer Kehrwerte ist dann proportional
10 der invertierten Induktivität. Dieses Verfahren eignet sich besonders gut zur Implementierung bei Maschinen mit Toleranzband-Stromregelung, wie in Fig. 3 gezeigt wird.

- Das Prinzip der Stromregelung beruht darauf, daß die
15 Differenz zwischen Strom-Soll und -Istwert einem hysteresebehafteten Komparator (42) zugeführt wird. Der logische Ausgang des Komparators (42) steuert einen für einen Strang (41) zuständigen Wechselrichter-Brückenweig (43), wodurch der Strom (meist) am Verlassen des durch
20 die Hysterese definierten Toleranzbandes gehindert wird.

- Die Erweiterung für die Positionsmessung besteht - ähnlich wie beim Verfahren nach Fig. 1 - aus einer übergeordneten Logik (45) für den Meßvorgang, wodurch
25 eine Kontrolle über eine Wechselrichter-Treiber- und Ansteuerlogik (44), unabhängig vom Komparator (42), möglich ist. Die Stromistwerterfassung erfolgt über einen Stromwandler (46), der Stromistwert wird dem N-Eingang des Komparators (42) zugeführt. Von einem Steuerungsmodul
30 (47) erfolgt die Information bezüglich des Stromsollwertes an den P-Eingang des Komparators (42). Zwei Leitungen (48 bzw. 49) verbinden das Steuerungsmodul (47) mit der übergeordneten Logik (45) für den Meßvorgang und übertragen die Informationen über den Komparator- bzw.
35 Brückenstatus.

- 13 -

Ein Meßzyklus wird nun durchgeführt, indem der Strom-
sollwert im betreffenden Zweig konstant gehalten und
Schalthandlungen in den anderen Zweigen unterbunden
werden. Dadurch wird im erstgenannten Strang (41) der
5 gewünschte Stromverlauf erreicht. Die Komparatorfunktion
in diesem Zweig bleibt aufrecht. Da bei diesem Verfahren
nur Zeiten gemessen werden, ist hier, im Gegensatz zum
Verfahren nach Fig. 1, keine Analog/Digitalwandlung für
einen angeschlossenen Rechner erforderlich.

10

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur sensorlosen Drehwinkelerfassung von
dämpferlosen, vorzugsweise permanentmagneterregten,
Synchronmaschinen, wobei die Rückwirkung von an die
Synchronmaschine abgesetzten elektrischen Testsi-
gnalen gemessen wird, dadurch gekennzeichnet, daß
5 die Testsignale Spannungssprünge sind, die ein zur
zu messenden Synchronmaschine gehörender, speisender
Umrichter generiert, und daß die ermittelten Meßda-
ten einem Rechner zugeführt werden, der aus der
10 Winkelabhängigkeit der Statorreaktanz die Rotor-
stellung berechnet, und daß zum Start der Synchron-
maschine eine Vormagnetisierung eingestellt und je
eine Messung bei feldschwächender und bei
feldstärkender Wirkung durchgeführt wird.
15
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß zwei hintereinanderfolgende Testmessungen mit
kurzer Meßfrequenz durchgeführt werden.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß eine Testmessung mit momentanen Schätzwerten von
Drehwinkel und Drehzahl sowie einem Stromraumzeiger
durchgeführt wird.

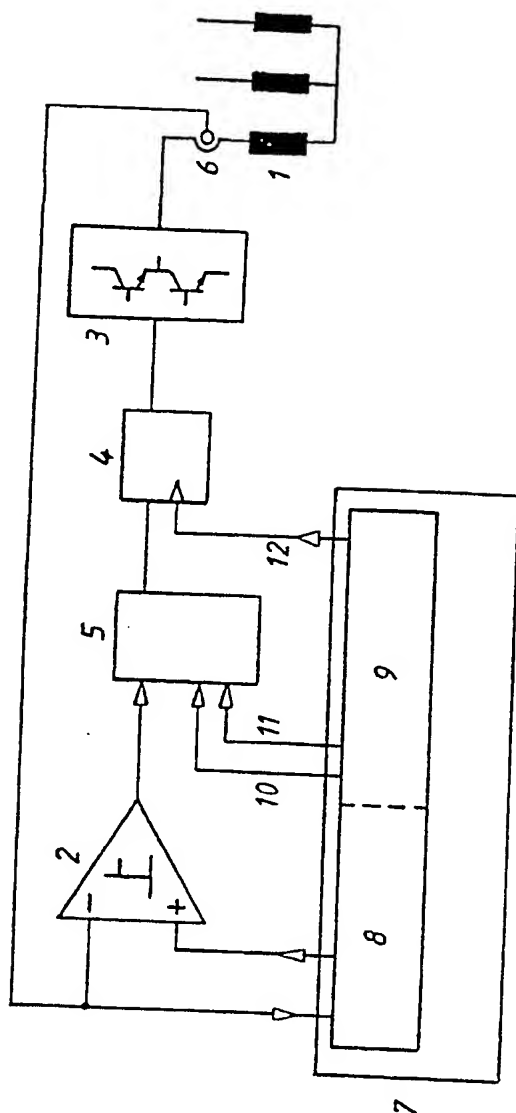


Fig. 1

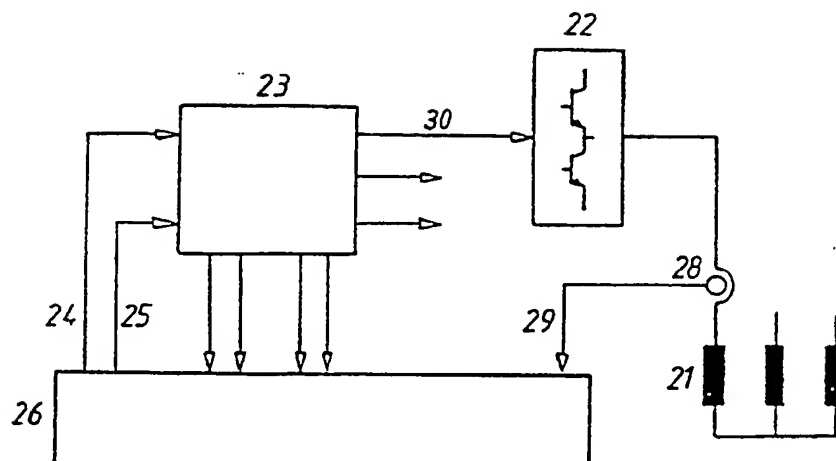


Fig. 2

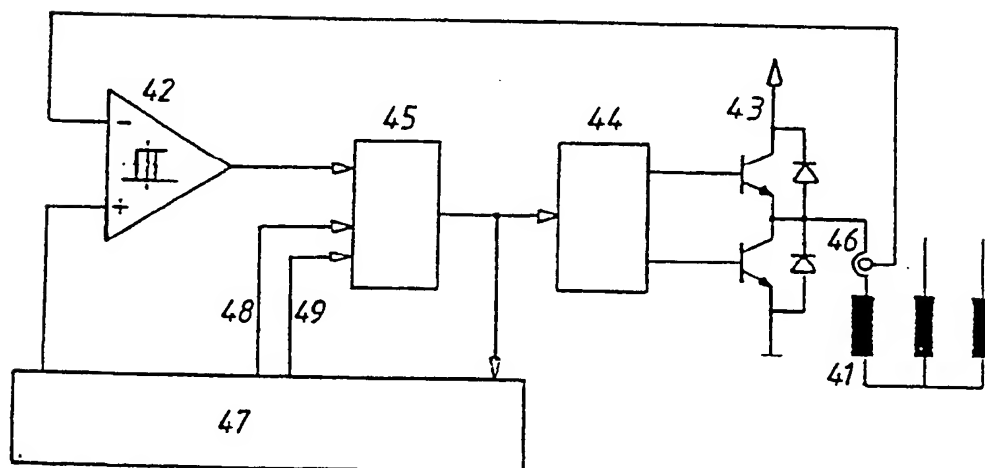


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/AT 90/00024

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (If several classification symbols apply, indicate all) * According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC Int.Cl. ⁵ G01B 7/30, H02K 24/00																				
II. FIELDS SEARCHED <div style="text-align: right; font-size: small;">Minimum Documentation Searched ⁷</div> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%; border: none;">Classification System</td> <td style="border: none;">Classification Symbols</td> </tr> <tr> <td style="border: none; padding: 5px;">Int.Cl.⁵</td> <td style="border: none; padding: 5px;">G01B; G01D, G08C; H02K</td> </tr> </table> <div style="text-align: center; font-size: x-small; margin-top: 5px;">Documentation Searched other than Minimum Documentation to the extent that such Documents are included in the Fields Searched *</div>			Classification System	Classification Symbols	Int.Cl. ⁵	G01B; G01D, G08C; H02K														
Classification System	Classification Symbols																			
Int.Cl. ⁵	G01B; G01D, G08C; H02K																			
III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT ¹ <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <tr> <th style="width: 10%; text-align: left;">Category ⁸</th> <th style="width: 60%; text-align: left;">Citation of Document, ¹¹ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹²</th> <th style="width: 30%; text-align: left;">Relevant to Claim No. ¹³</th> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;">A</td> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;">US, A, 4743786 (ICHIKAWA ET AL) 10 May 1988, see the whole document</td> <td style="vertical-align: top; text-align: center; padding: 5px;">1</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;">A</td> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;">US, A, 4764767 (ICHIKAWA ET AL) 16 August 1988, see the whole document</td> <td style="vertical-align: top; text-align: center; padding: 5px;">1</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;">A</td> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;">FR, A5, 2082308 (MOSKOVSKY ORDENA LENINA ENERGETICHESKY INSTITUT) 10 December 1971, see the whole document</td> <td style="vertical-align: top; text-align: center; padding: 5px;">1</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;">A</td> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;">SE, B, 372858 (ALLMÄNNA SVENSKA ELEKTRISKA AB) 13 January 1975 see the whole document</td> <td style="vertical-align: top; text-align: center; padding: 5px;">1</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; padding: 10px;">-----</td> </tr> </table> <div style="font-size: x-small; margin-top: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>* Special categories of cited documents: ¹⁰</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&" document member of the same patent family</p> </div> </div> </div>			Category ⁸	Citation of Document, ¹¹ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹²	Relevant to Claim No. ¹³	A	US, A, 4743786 (ICHIKAWA ET AL) 10 May 1988, see the whole document	1	A	US, A, 4764767 (ICHIKAWA ET AL) 16 August 1988, see the whole document	1	A	FR, A5, 2082308 (MOSKOVSKY ORDENA LENINA ENERGETICHESKY INSTITUT) 10 December 1971, see the whole document	1	A	SE, B, 372858 (ALLMÄNNA SVENSKA ELEKTRISKA AB) 13 January 1975 see the whole document	1	-----		
Category ⁸	Citation of Document, ¹¹ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹²	Relevant to Claim No. ¹³																		
A	US, A, 4743786 (ICHIKAWA ET AL) 10 May 1988, see the whole document	1																		
A	US, A, 4764767 (ICHIKAWA ET AL) 16 August 1988, see the whole document	1																		
A	FR, A5, 2082308 (MOSKOVSKY ORDENA LENINA ENERGETICHESKY INSTITUT) 10 December 1971, see the whole document	1																		
A	SE, B, 372858 (ALLMÄNNA SVENSKA ELEKTRISKA AB) 13 January 1975 see the whole document	1																		

IV. CERTIFICATION <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">Date of the Actual Completion of the International Search</td> <td style="width: 50%; border: none;">Date of Mailing of this International Search Report</td> </tr> <tr> <td style="border: none; padding: 5px;">20 June 1990 (20.06.90)</td> <td style="border: none; padding: 5px;">06 July 1990 (06.07.90)</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">International Searching Authority</td> <td style="border: none;">Signature of Authorized Officer</td> </tr> <tr> <td style="border: none; padding: 5px;">EUROPEAN PATENT OFFICE</td> <td style="border: none;"></td> </tr> </table>			Date of the Actual Completion of the International Search	Date of Mailing of this International Search Report	20 June 1990 (20.06.90)	06 July 1990 (06.07.90)	International Searching Authority	Signature of Authorized Officer	EUROPEAN PATENT OFFICE											
Date of the Actual Completion of the International Search	Date of Mailing of this International Search Report																			
20 June 1990 (20.06.90)	06 July 1990 (06.07.90)																			
International Searching Authority	Signature of Authorized Officer																			
EUROPEAN PATENT OFFICE																				

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 1985)

**ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.PCT/AT 90/00024**

SA 35740

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report.
The members are as contained in the European Patent Office EDP file on 24/05/90
The European Patent office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A- 4743786	10/05/88	EP-A- 0182322	28/05/86
		JP-A- 62046202	28/02/87
		JP-A- 61122504	10/06/86
US-A- 4764767	16/08/88	EP-A- 0212662	04/03/87
		JP-A- 62047501	02/03/87
FR-A5- 2082308	10/12/71	NONE	
SE-B- 372858	13/01/75	NONE	

For more details about this annex : see Official Journal of the European patent Office, No. 12/82

EPO FORM P0479

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/AT 90/00024

I. KLASSEIFIKATION DES ANMELDUNGSGENSTANDS (bei mehreren Klassifikationssymbolen sind alle anzugeben) ⁶		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC InLCl.5 G 01 B 7/30, H 02 K 24/00		
II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff ⁷		
Klassifikationssystem InLCl.5	Klassifikationssymbole G 01 B; G 01 D, G 08 C; H 02 K	
Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen ⁸		
III. EINSCHLÄGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN ⁹		
Art *	Kennzeichnung der Veröffentlichung ¹¹ , soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile ¹²	Betr. Anspruch Nr. ¹³
A	US, A, 4743786 (ICHIKAWA ET AL) 10 Mai 1988, siehe Dokument insgesamt --	1
A	US, A, 4764767 (ICHIKAWA ET AL) 16 August 1988, siehe Dokument insgesamt --	1
A	FR, A5, 2082308 (MOSKOVSKY ORDENA LENINA ENERGETICHESKY INSTITUT) 10 Dezember 1971, siehe Dokument insgesamt --	1
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen¹⁰:</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
IV. BESCHEINIGUNG		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts	
20. Juni 1990	06 JUL. 1990	
Internationale Recherchenbehörde	Unterschrift des bevollmächtigten Bediensteten	
Europäisches Patentamt	MISS T. TAZELAAR	

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Januar 1985)

III. EINSCHLÄGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN (Fortsetzung von Blatt 2)		
A. *	Kennzeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	SE, B, 372858 (ALLMÄNNA SVENSKA ELEKTRISKA AB) 13 Januar 1975, siehe Dokument insgesamt -- -----	1

**ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR.PCT/AT 90/00024**

SA 35740

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am 24/05/90
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A- 4743786	10/05/88	EP-A- 0182322	28/05/86
		JP-A- 62046202	28/02/87
		JP-A- 61122504	10/06/86
US-A- 4764767	16/08/88	EP-A- 0212662	04/03/87
		JP-A- 62047501	02/03/87
FR-A5- 2082308	10/12/71	KEINE	
SE-B- 372858	13/01/75	KEINE	

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

EPO FORM P0473